

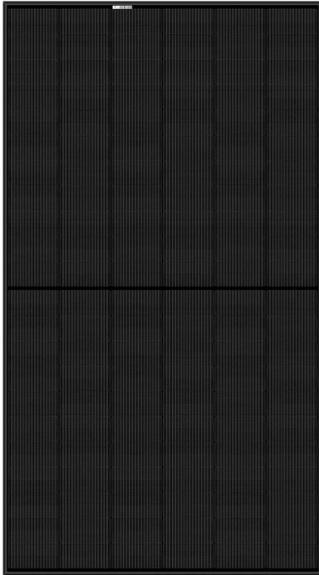
## REC Alpha テクノロジー： これまでにない出力を実現し、持続可能なエネルギーを生成

2019年5月、当時として出力世界最大級の60セルモジュールとなるREC Alphaシリーズが発売されたときは、ソーラーモジュール製造業界に衝撃が走りました。同じ設置面積でより多くの出力が得られることから、当初はTier1競合他社の市販の出力水準を超え、大きな電力ギャップが開きましたが、出力はその主な利点の1つにすぎず、実はその他にも多くの利点があるのです：

### REC Alpha シリーズとは？

ハーフカットセル技術とn型単結晶セルに関するRECの長年の経験を発展させ、ヘテロジャンクションセルテクノロジー（HJT）をセルに適用することで、REC Alpha ソーラーモジュールは高効率太陽光発電技術（図1）で画期的な開発であることが実証され、今日これを次世代にまで高めたのがREC Alpha Pure シリーズです

図1：HJTセルと高度なセル接続を備えたREC Alpha Pure シリーズ



### REC Alpha モジュールと他製品との違いは？

RECの革新的なツインモジュール設計にヘテロジャンクションセルと高度な低温セル接続技術を用いたREC Alphaは、EUやシンガポールをはじめとする国々で多数の設計特許を取得しており、業界をリードするモジュール設計としての地位が確立されています。これは、高効率のヘテロジャンクションセルの利点、ハンダ不要の高度なセル接続技術、ハーフカットセルの出力の利点、および性能を向上させるツインモジュール設計を組み合わせた初のソーラーモジュールです。つまり、住宅や小規模な商業施設の屋根上など、スペースが限られた環境では考慮すべき重要事項である電力密度を、60セルのモジュールとしては当時世界最高の水準、最大219 W/m<sup>2</sup>の電力密度で実現することができました。

図2：住宅屋根上のREC Alpha Pureと従来モジュールの出力：

	P型多結晶	P型単結晶	REC Alpha Pure
	16x290 Wp	16x365Wp	16x400Wp
	4.6kW	5.8kW	6.4kW
	-28% REC Alphaシリーズと比較した出力	-10% REC Alphaシリーズと比較した出力	10% 同じ面積で出力増

### ヘテロジャンクションセルテクノロジーとは？

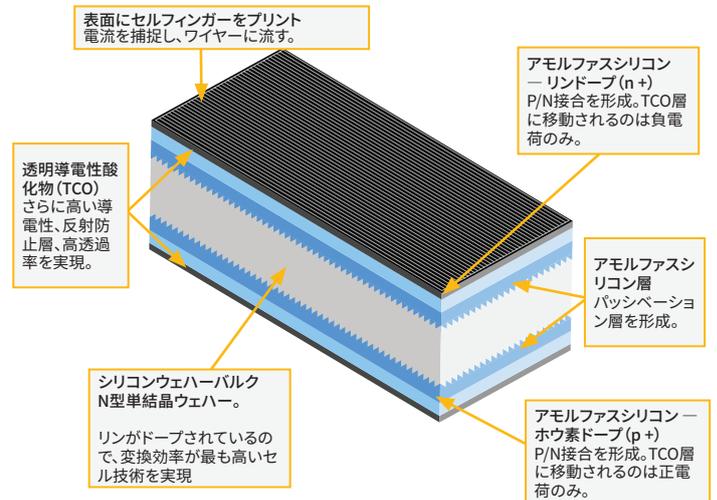
ヘテロジャンクションセルテクノロジーは、結晶シリコンセルと薄膜技術の利点を単一のセル構造内に組み合わせましたものです。これが意味するのは、25%を超える効率レベルも現在実現可能であるということです。

従来の結晶太陽電池がシリコンという単一の材料を使用するのに対して、HJTセルでは2つの異なる材料である結晶シリコンとアモルファスシリコンとの接合で形成されます。ヘテロジャンクションと呼ばれるのはこのためです。これにより、従来のセルと比較して性能面での利点が多く生まれます。

### HJT テクノロジーの利点は？

HJTセルの構造は、モジュールの出力と効率を向上させる上で重要な役割を果たします。アモルファスシリコン層は、シリコンウェーハのパッシベーションが最も良いので、セル電圧を大幅に増加させることができます。アモルファスシリコン層により、コンタクト層が「キャリア選択性」となり、一方の種類のキャリアのみを通過させ、コンタクト（電子（負電荷）または正孔（正電荷））に到達できるようにすることで、キャリア再結合を大幅に軽減させ、セルの変換効率と出力の向上を実現します。

図3：REC Alpha セル構造の図



表裏対称構造のHJTセルは事実上両面受光型セルとなり、他のセル構造タイプの中で最高の両面受光性能を提供します。他の構造の場合、いずれかの層に光が吸収されたり、抵抗損が発生したりすることで両面受光性能が低下します。両面受光型の構造のHJTセル技術は両面受光型の太陽電池モジュールに最適ですが、端面受光型の太陽電池モジュールでも、両面受光特性を活かして、セル裏面から光を受けることで、エネルギー収量を上げることができます。

### 低温製造

従来の太陽電池セルでは、拡散工程により、ドーパされた薄膜をウェーハに成膜させて、p-n接合を形成します。この工程は広く使用され、確立された製造方法ですが、大量のエネルギーを消費する高い温度を要し、ウェーハの洗浄にさらに湿式化学工程が必要になります。RECのHJTセルでは、ドーパされたアモルファスシリコンの層が低温で結晶シリコン基板上に堆積されるため、その後の処理は一切不要であり、製造工程によるセルへの影響を減らすことができ、製造品質が向上します。

## ゼロ LID

光誘起劣化 (LID : Light Induced Degradation) は多くの結晶セルで見られる現象です。これはモジュールがはじめて太陽光にさらされる際に出力が失われるというもので、ウェハー内のホウ素と酸素の組み合わせによって引き起こされます。REC Alpha セルには、ホウ素を含まず、LID の影響を受けない n 型単結晶ウェハーを使用しています。つまり、設置直後の出力の低下がなく、お客様は期待する出力を得ることができます。

## HJT によりマイクロクラックへの高い耐性を実現

モジュールは、その耐用寿命の中でさまざまな環境ストレスに耐えることが求められます。積雪、風、毎日の気温変動はすべて、太陽電池モジュールには負担になります。このような条件下において、従来の太陽電池モジュールの脆いセルでは、マイクロクラックが発生する可能性があり、全体的な性能の低下につながる恐れがあります。セントラルフロリダ大学 (UCF) が独自に実施した試験により、製造時にセルに及ぼす熱的ストレスや機械的ストレスを低減させることで、製品品質が向上し、このような欠陥への耐性の向上につながる事が示されています。<sup>1</sup>

## メタライゼーションとの直接接触がない

従来のセルでは、セルのメタライゼーションがシリコンと直接接触します。このような接触は電子と正孔の再結合トラップとして作用し、セル効率の低下を招きます。これとは対照的に、HJT セルではドーパされたアモルファスシリコン上に透明導電性酸化物層 (TCO) を蒸着させることで、シリコンへの直接接触を防いでいます。TCO 膜は導電性であるため、従来のセルに見られる銀ペーストを大量に使用する必要が減り、HJT セルの表面積が大きくなり、より多くの光を受光することができます。さらに、HJT セルで使用される低温ハンダは鉛フリーなので、モジュールの環境負荷がさらに低減します。

## 市場をリードする温度係数

HJT セルにより REC Alpha モジュールの温度定格は大幅に改善しています。第三者試験では、この技術により市場をリードする温度係数が得られ (25°C を超えて 1°C 上昇するごとの出力の損失率)、高い動作温度でも高効率動作を継続することが示されました (図 4)。

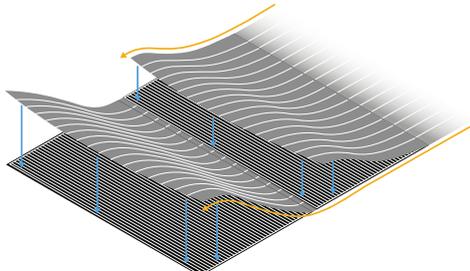
図 4: REC Alpha モジュールと一般モジュールの温度定格の比較

モジュールの温度定格:	一般	REC Alpha
$P_{MAX}$ の温度係数:	-0.37%/°C	-0.26%/°C
$V_{OC}$ の温度係数:	-0.31%/°C	-0.24%/°C
$I_{SC}$ の温度係数:	0.05%/°C	0.04%/°C

## REC の高度セル接続技術とは?

REC Alpha モジュールは、特別に開発されたホイルとワイヤーの組み合わせによりセルとセルの接続を実現します。これは、一般のセルで使用される高温ハンダ付けよりも侵襲性の少ない工程で、HJT セルの一体性を守るとともに品質を向上させます。ワイヤーには鉛フリーの合金コーティングが低温で施され、REC Alpha Pure の鉛フリー構造を踏襲します。

図 5: 高度低温接続により 2 枚のハーフカットセルを結合



ワイヤーとセルを接合するために、まずホイル上にワイヤーが配置された後、ホイルがセルに配置されます (図 5)。ホイルは漏洩や機械的ストレスに対する保護層の役割を果たします。続いて、その後の製造段階でも位置がずれないようにするために、ホイルに少し熱が加えられます。太陽電池モジュールが積層温度に到達すると、外側のワイヤー層が融解し、セルに完全に接合されます。この結果、ワイヤーは従来のセル接続で使用されているリボンの幅のわずか 1/4 となり、見た目も美しくなります。

## REC の高度な接続技術の利点は?

REC Alpha モジュールに使用される高度なセル接続技術の重要な利点の 1 つに、製造の工程数が従来のセル製造の場合よりもはるかに少ないということがあります。プロセス工程数が少ないことで、モジュールに欠陥が生じる場面も少なくなります。さらに、従来のセルの製造には最大 800°C 以上の温度が必要であるのに対して、REC Alpha のセル製造は約 200°C という比較的低い温度で済みます。

## 高い製造品質

従来のモジュールでは、非常に高温でセルのバスバーにリボンハンダ付けする必要があり、各部材の間に高い熱的ストレスが発生します。これに対し、高度なセル接続技術ではハンダ付けがないため、製造時にセルを極度に加熱する必要がありません。このように温度が低いことから、ハンダ、ペースト、シリコンなどの材料の熱係数のばらつきによって引き起こされる損傷のリスクが大幅に低下します。同様の侵襲的な方法のようにセルを加熱しないことで、セル構造の不具合が発生する可能性が大幅に低くなり、内部抵抗の増大および電力の低下を防ぐことができます。

実際の観点から見ると、従来のハーフカットセルは 5 本のリボンを持ち、リボン毎にハンダ付け点が 5 箇所となるので、セル毎のハンダ付け回数は 50 回となり、モジュール全体ではセルのハンダ付け点が 6000 箇所にもなり、この数はマルチバスバーテクノロジーではさらに多くなります!ハンダ付け回数がこれほど多いことから、セルには、局所的な熱と圧力が加えられたことに起因するマイクロクラックが発生しやすくなります。REC Alpha モジュールの高度な接続では、セル表面に直接装着したワイヤーを使用します。つまり、セルにバスバーが印刷されることがないので表面の被覆率が下がり、セル上のハンダ付けを完全に不要になります。つまり、モジュール全体でもわずか 320 箇所にとどまります。

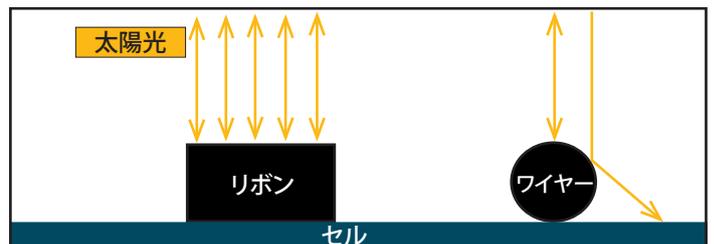
## 電流の増大と電力損失の低下

REC の高度な低温接続技術は、モジュールの抵抗損失を減らして、出力とエネルギー収量を高める役割も果たします。試験結果からは、ワイヤーの本数を 16 本 (5 本バスバー) に増やすと、内部抵抗の低減とセル被覆率のバランスが最適となり、出力を最大化することができる事が示されています。その結果、REC Alpha はセルとワイヤーの接続箇所をセル当たり 5000 箇所を超える接続点を持ち、Alpha Pure モジュール全体の接続点は 331,000 箇所を超えます。これにより、電流が流れる距離が短くなり、電流が増大し (「混雑」が軽減)、電力損失が低下します。

## 丸い形状のワイヤーにより変換効率が向上

従来のバスバーと比較した場合のワイヤーのもう 1 つの利点は、ワイヤーの形状が丸いことで、セルへの太陽光の反射を増やすことができる点です (図 6)。この結果、セルの発電量が増加し、変換効率を向上させることができます。

図 6: 丸い形状のワイヤーではリボンと比較すると太陽光の反射が増加



## ギャップレスセル接続

さらに、REC Alpha Pure は、ストリング内のセル間の隙間をなくすギャップレステクノロジーを採用しています。セルをわずかにオーバーラップさせると、モジュールの電力密度が上がり、効率の向上に貢献します。革新的なギャップレスセルレイアウトは、モジュールをコンパクトに保ちながら、400Wp を超える出力を提供します。

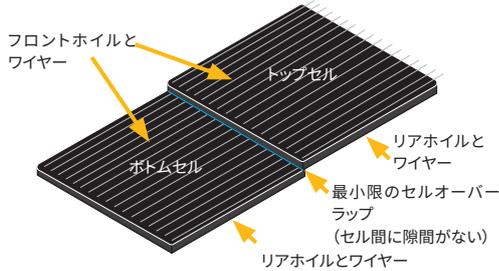
ギャップレスのレイアウトでは、セルのエッジが次のセルのエッジとオーバーラップして配置され、ホイルとワイヤーのみで区切られています。セルのオーバーラップには 2 つの利点があります:まず 1 つに、セル間の「空き」スペースを減らし、追加のセルスペースを新たに作り上げることで、モジュールサイズをコンパクトに保つことができます。セルを追加することによりモジュールの出力と電力密度が高まるので、住宅や商業施設がスペースの最適利用でき、電気料金のさらなる節約ができるようになります。

2 つめの利点として、セルをハーフカットセルの分割した部分のエッジが重なります。分割した部分のエッジは、光によって生成された

1 Eric Schneller et al, PV Magazine Webinar, 2019年9月, Fewer microcracks thanks to HIT technology? [HITテクノロジーのおかげでマイクロクラックが減るか?] [www.pv-magazine.com/webinars/fewer-microcracks-thanks-to-hit-technology](http://www.pv-magazine.com/webinars/fewer-microcracks-thanks-to-hit-technology)

キャリアが結合される可能性のある領域です。これらの領域に光が当たらないようにすることにより、このプロセスが防止され、モジュールの効率が向上します。

図7: ギャップレスセルのオーバーラップ



セル間の隙間をなくすことで、より均一な美観となり、REC Alpha Pure は住宅用や商業用の屋根上設置に魅力的なモジュールとなります。

### セルの接続品質はどのように確保されているのか?

REC Alpha モジュールは、IEC61215/61730 および UL61730 などの第三者認証の対象となり、試験としては湿度凍結、熱サイクル、および湿熱条件下での加速試験が行われます。さらに、IEC の試験基準より最大 3 倍厳格な社内認定に基づいてモジュールの試験をおこない、モジュールが当社の厳しい品質基準を満たし、長い耐用年数を実現することを確認しています。

### REC Alpha は環境に優しいのか?

#### 二酸化炭素排出量

二酸化炭素排出量の削減は、太陽光発電投資の重要な動機となることがしばしばあります。REC Alpha モジュールは、セルもモジュールも低温工程で生産することでエネルギー消費を削減するとともに、お客様には高い電力密度を提供することで、限られたスペースにより多くの出力が収まるように考えられています。つまり、これを設置することでクリーンなエネルギーをさらに多く生成するとともに、それ自体の二酸化炭素排出量をさらに削減することができるのです。

#### 鉛フリー構造

REC Alpha Pure は「電気・電子機器における特定有害物質の使用制限」(RoHS) に関する欧州規制に規定される鉛フリー化を実現し、環境への取り組みをさらに明確に打ち出す製品となっています。この規制は、製品中の鉛やカドミウムなど、複数の有害物質の最大許容量を制限するものです。しかし、鉛はソーラーモジュールの製造、特にハンダ付けやセルの相互接続において重要な役割を果たすことから、ソーラーモジュールは現在これらの規制が免除されています。つまり、従来のモジュールには鉛含有部材が現在も使用されているということの意味し、使用される鉛の量はモジュールあたり約 25 グラム、モジュールの総重量の 0.13% 以上にも上ります。これにより真に環境に優しいという業界の主張に汚点が残るかたちとなっています。

REC は、REC Alpha Pure モジュールに使われるすべての部品から鉛およびその他すべての制限物質を排除することに成功し、RoHS に完全に準拠する鉛フリー製品になりました。これにより環境被害ははるかに低減され、耐用年数経過後の廃棄に関しても周囲の生態系や人間への健康被害を及ぼすことなく容易におこなうことができます。つまり、REC Alpha Pure を選択するお客様は、単にクリーンなエネルギーを生成するだけでなく、環境にも大きく貢献します。

#### スプリットジャンクションボックスの利点とは?

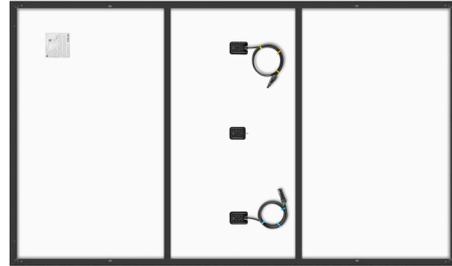
ジャンクションボックスを分割することでメタライゼーションが少なくなり、モジュール内の抵抗が減少します(図8)。また、モジュールを並列接続された2つの「ツインセル」に分割して、REC を象徴するツインモジュール構成が形成されます。3つの小さなボックスを使用することで、ジャンクションボックスの裏側のセルに蓄積される熱が、1つのボックスを備えた一般のモジュールと比較して 15 ~ 20°C 減少します。これにより、セルがより低温に保たれ、セルの吸収効率、抵抗の低減、信頼性、および全体的な出力が向上します。

#### REC のフレーム設計の利点とは?

REC Alpha シリーズは、7000Pa の積雪荷重および最大 4000Pa の風荷重に耐えることが実証され、革新的なフレーム設計を特徴としています。これは高さ 30mm のフレームで、裏面にサポートバーを備えることで、安定性および耐久性を実現します。サポートバーで補強することにより、重負荷がかかった場合でもガラス層が曲がるのを防止し、極度のたわみからセルを保護します。セルの損傷、

およびフレームやガラスの破損のリスクが低減されるため、長期間に渡って高出力を提供でき、長期的に高いエネルギー収量を実現することができます。

図8: サポートバーとスプリットジャンクションボックスを備えた REC Alpha モジュールの背面図

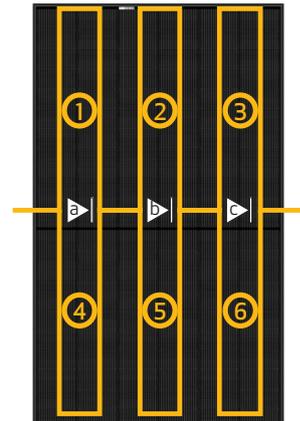


### Alpha に使われるツインデザイン

2015 年に REC によって初めて市場に導入されたツインデザインの印象的な外観は、ハーフカットセルが革新的なレイアウトで配置されることを特徴とします。ハーフカットされた長方形のセルは、セルを 2 等分に切断することで、セル内の電流を半分に低減します。セルの電力損失は電流の 2 乗に比例するため ( $P_{loss} = R \times I^2$ ,  $R$  は抵抗、 $I$  は電流) フルサイズのセルと比較してセルの電力損失は 4 分の 1 に減少します。

これに加えて、このツインモジュール設計ではモジュールが上半分と下半分に分割され、これら上下半分の「対」は、電流がモジュールを出る手前で並列接続されます(図9)。ここでの利点は、部分的に日影になっている条件下でもエネルギーを生成できるということです。たとえば、下半分の一部が日影になっていても上半分では出力を生み出すことができるのです!

図9: 内部に6つのセルストリングを持った REC Alpha シリーズモジュール



### 結論:

REC Alpha モジュールは、出力、効率、信頼性をまったく新しいレベルにまで高めます。また、HJT セルの結晶シリコンとアモルファスシリコンの組み合わせは、バンドギャップの差により優れたパッシベーションを実現します。これに加えて、REC の高度な低温セル接続技術が、接点数の増加、電流の流れの改善、および損失の低減により、さらに高い効率を実現します。その結果、電力密度ははるかに高いモジュールを実現することができ、REC Alpha Pure はスペースが限られた設置条件に最高の製品となります。とは言い、太陽電池モジュールの初期電力レベルだけが重要な特徴ではなく、耐用寿命に渡って高い性能を提供することも重要です。それこそが REC Alpha シリーズが他の製品に勝る点です。セルのハンダ付けをなくすことで、熱的ストレスに起因するウィークポイントが少なくなり、マイクロクラックやホットスポット、その他の不具合の発生を減らすことができます。それとともに、極めて強固なフレーム構造により堅牢性が向上し、長期に渡って高い保護性能を向上するとともに、鉛フリーであるため、耐用年数満了時もモジュールの廃棄とリサイクルをより容易に、環境に優しいかたちでおこなうことができます。

ギャップレスセル接続の REC Alpha Pure はフルブラックでシームレスな外観と相まって、新技術により何十年にもわたって多くのエネルギーを生成することができます。1年目の最大劣化率 2%、2 ~ 25 年の年劣化率 0.25% を保証する業界をリードする保証に裏打ちされ、25 年経過後の最終値は 92% で保証されており、耐用寿命に渡って高い発電量を提供する理想的な太陽電池モジュールです。